

**Verfahren und Vorrichtung zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners beim Stabilisieren eines Fahrzeugs**

5

**Beschreibung:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners beim Stabilisieren eines Fahrzeugs, bei dem  
10 ein Lenkstrang des Fahrzeugs mit einem Zusatzlenkmoment beaufschlagt wird.

Die Erfindung betrifft zudem eine Vorrichtung zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners, beinhaltend ein Mittel zum Be-  
15 aufschlagen eines Lenkstrangs eines Fahrzeugs mit einem Zusatzlenkmoment.

Eine Vielzahl moderner Fahrzeuge ist bereits mit einer Gieratenregelung (ESP) ausgestattet, die ein Fahrzeug in kritischen Fahrsituationen stabilisiert. Die Regelung basiert da-  
20 bei auf radindividuellen Bremseingriffen und Eingriffen in die Motorsteuerung, die vorgenommen werden, wenn das Fahrzeugverhalten von einem vorgegebenen Sollverhalten abweicht. Die Regeleingriffe sind für den Fahrzeugbediener sehr deut-  
25 lich spürbar und damit sehr unkomfortabel, so dass sie üblicherweise erst dann vorgenommen werden, wenn bereits eine erhebliche Abweichung zu dem Sollverhalten festgestellt wird.

Es ist ferner bekannt, in kritischen Fahrsituationen durch  
30 Regeleingriffe in die Lenkung des Fahrzeugs unabhängig von den Lenkvorgaben des Fahrzeugbedieners einen Lenkwinkel einzustellen, der den Fahrzustand des Fahrzeugs stabilisiert. Diese Eingriffe werden von dem Fahrer nicht als erhebliche Beeinträchtigung empfunden und können somit bereits bei ge-

ringeren Abweichungen von dem Sollverhalten vorgenommen werden. Hierfür muss das Fahrzeug jedoch mit einem geeigneten Lenksystem, beispielsweise einer Überlagerungslenkung oder einer Steer-by-Wire-Lenkung ausgerüstet sein. Zudem besteht  
5 die Gefahr von fehlerhaften Regeleingriffen, welche die Stabilität des Fahrzeugs erheblich beeinträchtigen können.

Daher ist es wünschenswert, den Fahrer des Fahrzeugs zu Beginn eines instabilen Fahrverhaltens und insbesondere bei  
10 seiner Kursführungsaufgabe lediglich zu unterstützen, ohne dass Stellgrößen, wie beispielsweise der Lenkwinkel des Fahrzeugs, direkt eingestellt werden.

Die internationale Patentanmeldung WO 02/062647 A1 beschreibt  
15 ein Lenksystem für ein Fahrzeug, bei dem der Fahrzeugbediener eine haptische Information über den Fahrzustand erhält. In Abhängigkeit einer Abweichung zwischen der Gierrate des Fahrzeugs und einer Referenzgierrate wird dabei durch einen Elektromotor ein Lenkmoment eingestellt, durch das die Lenkung  
20 leicht- bzw. schwergängiger wird.

Hierdurch erhält der Fahrer jedoch keine konkreten Vorgaben dazu, wie er das Fahrzeug stabilisieren kann, wenn ein instabiler Fahrzustand vorliegt. Insbesondere unerfahrene Fahrer  
25 wissen jedoch, beispielsweise in einer Unter- oder Übersteuersituation nicht, in welcher Weise sie reagieren müssen, um einen stabilen Fahrzustand zu erreichen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren  
30 der eingangs genannten Art so zu verbessern, dass der Fahrer eines Fahrzeugs zuverlässig bei der Stabilisierung des Fahrzeugs unterstützt wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren nach dem Patentanspruch 1 sowie durch eine Vorrichtung nach dem Patentanspruch 11 gelöst.

5 Die Erfindung stellt ein Verfahren zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners beim Stabilisieren eines Fahrzeugs bereit, bei dem ein Lenkstrang des Fahrzeugs mit einem Zusatzlenkmoment beaufschlagt wird, das sich dadurch auszeichnet, dass ein erster Anteil des Zusatzlenkmoments in Abhängigkeit einer  
10 Lenkwinkelabweichung zwischen einem momentanen Lenkwinkel an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs und einem Solllenkwinkel bestimmt wird, wobei die Lenkwinkelabweichung in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem momentanen Wert einer Gierrate des Fahrzeugs und einem Wert einer Referenzgierrate be-  
15 stimmt wird, und wobei der Wert der Referenzgierrate anhand eines Wertes wenigstens einer vom Fahrer vorgegebenen Größe in einem Fahrzeugmodell ermittelt wird.

Durch ein derartiges Verfahren kann der Fahrer zuverlässig  
20 und wirkungsvoll dabei unterstützt werden, einen Solllenkwinkel einzustellen, der den Fahrzustand des Fahrzeugs, beispielsweise in einer Übersteuersituation stabilisiert.

Die Referenzgierrate wird dabei vorzugsweise in Abhängigkeit  
25 eines von dem Fahrzeugbediener eingestellten Lenkwinkels ermittelt und berücksichtigt so das von dem Fahrer gewünschte Fahrverhalten des Fahrzeugs.

Es hat sich dabei jedoch gezeigt, dass durch das Aufbringen  
30 des Zusatzlenkmoments insbesondere bei Fahrzeugen, die mit einem ESP-Regeler zum Regeln einer Gierratenabweichung ausgerüstet sind, zu Instabilitäten kommen kann. Dies konnte darauf zurückgeführt werden, dass die Referenzgierrate durch die

Lenkbewegungen des Fahrers, die dieser aufgrund der Unterstützung anhand des Zusatzlenkmoments ausführt, beeinflusst wird. Durch die wechselseitige Beeinflussung zwischen dem Wert des Zusatzlenkmoments und dem Wert der Referenzgierrate  
5 kam es dabei teilweise zu Schwingungen in der Gierrate, bei denen sich das Fahrzeug "aufschaukelte".

Zur Vermeidung dieses Problems ist es in einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass das Zusatz-  
10 lenkmoment dann zurückgenommen wird, wenn die momentane Gierrate des Fahrzeugs betragsmäßig unter einen Wert der Referenzgierrate sinkt, der zu dem Zeitpunkt des Beginns einer instabilen Fahrsituation ermittelt wird.

15 Hierdurch konnte eine stabile Regelung des Fahrzustandes des Fahrzeugs erreicht werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Lenkwinkelabweichung in Abhängig-  
20 keit einer Abweichung zwischen einem momentanen Wert der Gierrate des Fahrzeugs und dem Wert der Referenzgierrate bestimmt wird, der zu einem Zeitpunkt eines Beginns einer instabilen Fahrsituation ermittelt wird.

25 Auch hierdurch lässt sich eine wechselseitige Beeinflussung zwischen dem Wert des Zusatzlenkmoments und dem Wert der Referenzgierrate vermeiden und eine stabile Regelung erreichen.

Der Zeitpunkt des Beginns einer instabilen Fahrsituation wird  
30 vorzugsweise durch eine Aktivierungslogik bestimmt. Zweckmäßigerweise greift die Aktivierungslogik dabei auf Ergebnisse einer Fahrsituationserkennung zu.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass ein zweiter Anteil des Zusatzlenkmoments in Abhängigkeit eines geschätzten Wertes eines Reifenrückstellmoments bestimmt wird.

5

Durch die Berücksichtigung des Reifenrückstellmoments wird es dabei ermöglicht, den momentanen Fahrbahnzustand bei den Regeleingriffen zu berücksichtigen. Insbesondere ergibt sich dabei ein unterschiedliches Reifenrückstellmoment für verschiedene Reibwerte der Fahrbahn, so dass der Wert des Zusatzlenkmoments diesen angepasst werden kann.

10

Das Reifenrückstellmoment wird vorzugsweise durch einen Störgrößenbeobachter geschätzt.

15

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Zusatzlenkmoment durch eine Addition des ersten und des zweiten Anteils ermittelt.

20

Dies erlaubt es, den aus der Lenkwinkelabweichung abgeleiteten Regelanteil des Zusatzlenkmoments und den aus dem Reifenrückstellmoment ermittelten Anteil, der als Störanteil angesehen werden kann, unabhängig voneinander zu bestimmen, so dass ein verwendeter Lenkwinkelregler sehr einfach und zuverlässig ausgeführt werden kann.

25

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Betrag des Zusatzlenkmoments limitiert wird.

30

Hierdurch wird werden Regeleingriffe verhindert, bei denen das Zusatzlenkmoment so groß wird, dass der Fahrer die Kontrolle über die Lenkung des Fahrzeugs verlieren kann.

Die Erfindung stellt überdies eine vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereit.

- 5 Die Vorrichtung zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners beim Stabilisieren eines Fahrzeugs, beinhaltend ein Mittel zum Einstellen eines Zusatzlenkmoments anhand eines Zusatzlenkmomentsignals, zeichnet sich dadurch aus, dass ein Mittel zum Bestimmen einer Referenzgierrate ein Referenzgierratensignal  
10 an einen Lenkwinkelregler übermittelt, der ein erstes Zusatzlenkmomentsignal in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen dem Referenzgierratensignal und einem gemessenen Gierratensignal bestimmt.
- 15 Die Unteransprüche 12 bis 17 geben insbesondere vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung, die es ermöglichen, einen Regeleingriff wie bereits beschrieben in Abhängigkeit eines Vergleichs zwischen der momentanen Gierrate des Fahrzeugs und eines Wertes der Referenzgierrate zu bestimmen, der zu einem  
20 Zeitpunkt eines Beginns einer instabilen Fahrsituation ermittelt wird, bzw. eine Lenkwinkelregelung in Abhängigkeit dieses Wertes der Referenzgierrate vorzunehmen.

In den Unteransprüchen 18 bis 20 angegebene bevorzugte Aus-  
25 gestaltung ermöglichen insbesondere die Berücksichtigung des Reifenrückstellmoments anhand einer Störgrößenaufschaltung.

Die Ansprüche 21 bis 23 geben vorteilhafte Ausführungsformen des Mittels zum Einstellen des Zusatzlenkwinkels an.

30

Weitere Vorteile und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgen-

den Darstellung bevorzugter Ausführungsbeispiele anhand der Figuren.

Von den Figuren zeigt

5

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Regelsystems zum Ermitteln eines Zusatzlenkmoments,

10

Fig. 2 ein Blockschaltbild mit einer Übersicht über ein Regelsystem zum Ermitteln eines Zusatzlenkmoments in einer Übersteuersituation,

15

Fig. 3 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes zum Erkennen der Fahrsituation,

20

Fig. 4 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes, der eine Aktivierungslogik enthält,

25

Fig. 5 eine erste Ausführungsform eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes zum Ermitteln des Solllenkwinkels,

Fig. 6 eine zweite Ausführungsform eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes zum Ermitteln des Solllenkwinkels,

30

Fig. 7 eine erste Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes zum Schätzen des Reifenrückstellmoments,



- Fig. 8 eine zweite Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes zum Schätzen des Reifenrückstellmoments,
- 5 Fig. 9 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes zum Schätzen eines Fahrerlenkmoments,
- Fig. 10 eine Ausgestaltung eines Lenkwinkelreglers,
- 10 Fig. 11 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 2 dargestellten Blockschaltbildes zur Störgrößenaufschaltung,
- 15 Fig. 12 eine Veranschaulichung einer Limitierung des Zusatzlenkmoments,
- Fig. 13 ein Blockschaltbild mit einer Übersicht über ein Regelsystem zum Ermitteln eines Zusatzlenkmoments in einer Untersteuersituation,
- 20 Fig. 14 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 13 dargestellten Blockschaltbildes zum Erkennen der Fahrsituation,
- 25 Fig. 15 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 13 dargestellten Blockschaltbildes, der eine Aktivierungslogik enthält,
- 30 Fig. 16 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der Figur 13 dargestellten Blockschaltbildes zum Ermitteln des Solllenkwinkels,



Fig. 17 eine Ausführungsform eines Lenkwinkelreglers und

Fig. 18 eine Ausgestaltung eines Blocks des in dem in der  
Figur 13 dargestellten Blockschaltbildes zum Limi-  
5 tieren des Zusatzlenkmoments.

Es wird von einem zweiachsigen, vierrädrigen Kraftfahrzeug  
mit lenkbaren Rädern an einer Vorderachse ausgegangen. Die  
Lenkung des Fahrzeugs ist vorzugsweise als Zahnstangenlenkung  
10 ausgeführt, die mit einer elektrischen Servolenkung ausgerüs-  
tet ist. Im konventionellen Betrieb der Servolenkung wird der  
Lenkstrang durch einen EPS-Servomotor (EPS = Electric Power  
Steering) mit einem zusätzlichen Lenkmoment beaufschlagt,  
welches das von dem Fahrer aufgebraachte Lenkmoment verstärkt.  
15 Der Fahrerlenkwunsch wird dabei anhand eines Handlenkmoments  
 $M_H$  ermittelt, das mittels eines in eine Lenkstange der Len-  
kung eingebrachten Torsionsstabs gemessen wird.

Zum Einstellen einer Zusatzlenkmomentanforderung  $M_{DSR}$  (DSR =  
20 Driver Steering Recommendation) zur Fahrerunterstützung wird  
die elektrische Servolenkung genutzt, die dabei von einem  
Regler beispielsweise über eine Schnittstelle zum CAN-Bus des  
Fahrzeugs angesteuert wird. Der EPS-Servomotor dient dabei  
als Aktuator, der ein Lenkmoment  $M_{DSR}$  (DSR = Driver Steering  
25 Recommendation) in den Lenkstrang einbringt, welches einem  
limitierten Zusatzlenkmoment  $\Delta M$  entspricht.

In ähnlicher Weise kann die Erfindung jedoch auch in Fahrzeu-  
gen mit anderen Lenksystemen, wie beispielsweise Lenksystemen  
30 mit einer hydraulischen Servolenkung oder mit einer Steer-by-  
Wire-Lenkung eingesetzt werden.

In Figur 1 ist der prinzipielle Aufbau eines Lenkstrang-Regelsystems 120 zum Ermitteln der Lenkmomentanforderung  $M_{DSR}$  in einer Übersicht dargestellt. Fahrsituationen in denen ein instabiler Fahrzustand des Fahrzeugs vorliegt, werden in den  
5 Blöcken 130 und 140 erkannt. Diese greifen dabei insbesondere auf Informationen zurück, die durch einen Fahrdynamikregler 110 bereitgestellt werden. Bei dem Fahrzustandsregler 110 kann es sich beispielsweise um ein ESP- und/oder ein ABS-System handeln. Eine Erkennung von kritischen Fahrsituationen,  
10 in denen das Fahrzeug übersteuert, wird vorzugsweise in dem Block 130 durchgeführt. In dem Block 140 wird ein Untersteuern des Fahrzeugs erkannt.

Entsprechend des erkannten instabilen Fahrzustands wird in  
15 einem Steueranteil des Reglesystems in den Blöcken 150 und 160 ein Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  berechnet, der auf eine der erkannten Fahrsituation angepasste Weise bestimmt wird.

Bei einem erkannten Übersteuern, das durch einen Lastwechsel  
20 oder einen Bremsvorgang in einer Kurve verursacht werden kann, wird dabei in dem Block 150 ein Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  berechnet, der den Fahrzustand möglichst schnell stabilisiert.

Eine Fahrsituation, in der das Fahrzeug untersteuert, kann  
25 typischerweise bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten und auf Fahrbahnen mit einem niedrigen Reibwert, wie beispielsweise auf einer eisbedeckten Fahrbahn, oder in einer Aquaplaning-Situation entstehen. Lenkbewegungen können eine Gierbewegung des Fahrzeugs in einer solchen Situation typischerweise nicht  
30 oder nur sehr wenig beeinflussen. Bei einem Reibwertwechsel von dem niedrigen auf einen hohen Reibwert können Lenkbewegungen des Fahrers jedoch zu von ihm nicht erwarteten, heftigen Reaktionen des Fahrzeugs und zum Schleudern führen. In

einer Untersteuersituation besteht das Regelungsziel daher in einem Aufrechterhalten des bei der Erkennung der Situation vorliegenden Lenkwinkels, der in dem Block 160 bestimmt wird.

- 5 Ein Lenkwinkelregler 170, bei dem vorzugsweise eine Störgrößen-  
Benaufschaltung vorgenommen wird, bestimmt das Zusatzlenkmo-  
ment  $\Delta M$ , aus dem das Unterstützungsmoment  $M_{DSR}$  bestimmt wird,  
anhand dessen der Fahrer den Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  bequem ein-  
stellen kann. In einer Untersteuersituation wirkt das Zusatz-  
10 lenkmoment  $\Delta M$  den Lenkbewegungen entgegen, um diesen dabei zu  
unterstützen, den momentanen Lenkwinkel beizubehalten. Von  
den Blöcken 150 und 160 können dabei auch Parameter des Reg-  
lers 170, wie beispielsweise Verstärkungen oder Störgrößen,  
übergeben werden, um die Regelung in den verschiedenen Fahr-  
15 situationen in angepasster Weise vorzunehmen.

In dem Block 180 wird eine situationsabhängige Limitierung  
des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  vorgenommen. Hierdurch wird das Zu-  
satzlenkmoment  $\Delta M$  insbesondere auf Werte begrenzt, die es dem  
20 Fahrer erlauben, Lenkbewegungen vorzunehmen, die nicht mit  
den Vorgaben des Regelsystems 120 übereinstimmen. Der Fahrer  
behält damit jederzeit die vollständige Kontrolle über das  
Fahrzeug.

- 25 Eine bevorzugte Ausgestaltung des Anteils des Regelsystems  
120, der die Regelung in einer Übersteuersituation vornimmt,  
also insbesondere ein die Blöcke 130, 150, 170 und 180 in der  
Prinzipdarstellung der Figur 1 enthaltender Anteil, ist in  
einer als Blockschaltbild dargestellten Übersicht in der Fi-  
30 gur 2 gezeigt.

Das Teilsystem umfasst dabei insbesondere einen Block 210 zum  
Erkennen einer Übersteuersituation, einen Block 220, der eine

Logikschaltung zum Aktivieren des Regelsystems enthält, einen Block 230 zum Schätzen von Störgrößen, wie insbesondere des Reifenrückstellmoments  $M_R$  und des Fahrerlenkmoments  $M_F$ , einen Block 240 zum Bestimmen des Solllenkwinkels  $\delta_{soll}$ , einen Lenk-  
5 winkelregler 250, einen Block 260 zur Störgrößenaufschaltung, sowie einen Block 270 zum Limitieren des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$ . Das limitierte Zusatzlenkmoment  $\Delta M$  entspricht dabei der Lenkmomentanforderung  $M_{DSR}$  an den EPS-Servomotor.

- 10 Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Blocks 210 zum Erkennen der Übersteuersituation ist in der Figur 3 dargestellt. Eine Übersteuersituation wird in dem Block 210 dann erkannt, wenn die Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$  des Fahrzeugs größer als ein vorgegebener Schwellenwert  $S_v$  ist und wenn wenigstens eine  
15 der im Folgenden erläuterten weiteren Bedingungen erfüllt ist. Der Schwellenwert  $S_v$  liegt dabei beispielsweise zwischen 5 km/h und 20 km/h, vorzugsweise bei 10 km/h.

Eine erste weitere Bedingung für die Erkennung einer Über-  
20 steuersituation ist erfüllt, wenn

- a) der Lenkwinkel  $\delta_R$  an den lenkbaren Rädern das gleiche Vorzeichen hat, wie die Differenz  $\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}$  zwischen der gemessenen Gierrate  $\dot{\psi}$  und einer in einem Fahrzeugreferenzmodell berechneten Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$ ,  
25 b) der Betrag der Differenz  $\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}$  größer als ein vorgegebener Schwellenwert  $S_\psi$  ist, und  
c) ein SESP-Flag den Wert 1 aufweist.

Durch den Teil a) der Bedingung wird dabei sichergestellt,  
30 dass es sich bei der instabilen Fahrsituation um eine Übersteuersituation und um einen andersartigen instabilen Fahrzustand handelt. Anhand des Teils b) wird die momentane Fahrsi-

tuation daraufhin bewertet, ob ein kritischer Fahrzustand vorliegt. Der Schwellenwert  $S_{\psi}$  wird vorzugsweise der momentanen Fahrzeugreferenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$  und dem momentan vorliegenden Reibwert angepasst, wobei hier beispielsweise der  
5 in einem ESP-System geschätzte Reibwert zugrunde gelegt werden kann. Die Anpassung erfolgt vorzugsweise anhand von Kennlinien oder einer Tabelle.

Das SESP-Flag wird durch eine weitere Fahrsituationserkennung  
10 bestimmt und nimmt den Wert 1 an, wenn eine Teilbremsung während einer Geradeausfahrt oder einer Kurvenfahrt oder ein Lastwechsel während einer Kurvenfahrt ermittelt wird. Andernfalls hat es den Wert 0.

15 Dabei wird anhand des Lenkwinkels  $\delta_R$  an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs und dessen Änderungsrate  $\dot{\delta}_R$  sowie anhand der gemessenen Querbeschleunigung  $a_y$  des Fahrzeugs und unter Einbeziehung von Erkennungsergebnisse eines ESP-System ermittelt, ob das Fahrzeug geradeaus oder in einer Kurve fährt.

20

Ferner wird anhand des Bremsdrucks in den Radbremsen und dessen zeitlichem Verlauf ermittelt, ob eine Instabilität des Fahrzeugs durch einen Bremseingriff des Fahrers entstehen kann.

25

Anhand der gemessenen Radgeschwindigkeiten und anhand des Motormoments und seines zeitlichen Verlaufs bzw. anhand der Fahrpedalstellung und ihres zeitlichen Verlaufs wird ferner ermittelt, ob eine Instabilität dadurch entstehen kann, dass  
30 der Fahrer das Motormoment schnell verringert.

Ferner wird das SESP-Flag anhand einer Übersteuertendenz bestimmt, anhand der Gierrate  $\dot{\psi}$  und ihrer Änderungsrate ermit-

telt. Zudem wird zur Koordinierung mit ABS-Regeleingriffen geprüft, ob sich ein Hinterrad des Fahrzeugs in einer ABS-Regelung befindet.

- 5 Eine zweite weitere Bedingung für das Vorliegen einer Übersteuersituation ist erfüllt, wenn
- a) die Änderungsrate  $\dot{\beta}$  des Schwimmwinkels  $\beta$  größer als ein vorgegebener Schwellenwert  $S_{\beta}$  ist, und
  - b) die Änderungsrate  $\dot{\delta}_R$  des Lenkwinkels  $\delta_R$  größer als ein
- 10 vorgegebener Schwellenwert  $S_{\delta}$  ist.

Hierdurch werden Übersteuersituationen frühzeitig erkannt, die insbesondere bei heckangetriebenen Fahrzeugen entstehen, wenn der Fahrer in einer Kurve beschleunigt. Die Schwellen-

15 werte  $S_{\beta}$  und  $S_{\delta}$  werden dabei in Fahrversuchen auf den jeweiligen Fahrzeugtyp abgestimmt.

Wird in dem Block 210 eine Übersteuersituation anhand der vorbeschriebenen Bedingungen erkannt, wird ein Übersteuer-

20 flag, welches das Ausgangssignal des Blocks 210 darstellt, auf den Wert 1 gesetzt. Das Übersteuerflag wird von dem Wert 1 auf den Wert 0 zurückgesetzt, wenn die genannten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind. Vorzugsweise werden dabei jedoch kleinere Schwellenwerte zugrunde gelegt, so dass die Regelung

25 durch eine Hysterese beruhigt wird.

Das Übersteuerflag dient als Eingangssignal für den Block 220, der die Aktivierungslogik für die Regelung enthält. Eine vorteilhafte Ausgestaltung dieses Blocks ist in Figur 4 dar-

30 gestellt.

Bei einem Zündungsneustart wird ein Übersteuer-Aktiv-Flag, welches das Ausgangssignal des Blocks 220 darstellt, auf den



Wert 0 gesetzt. Eine Änderung auf den Wert 1 wird dann vorgenommen, wenn das Übersteuerflag den Wert 1 angenommen hat.

Innerhalb des Blocks 220 wird ein Speicher 410 durch das  
5 Übersteuer-Aktiv-Flag angesteuert, der vorzugsweise als flankengesteuerter Haltespeicher ausgeführt ist. Wechselt der Wert des Übersteuer-Aktiv-Flags zum Zeitpunkt  $t_{ein}$  von 0 auf 1, wird der Wert  $\dot{\psi}_{ref}(t_{ein})$  der Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  in dem Speicher 410 gespeichert. Dieser Wert der Referenzgierrate  
10  $\dot{\psi}_{ref}$  charakterisiert dabei den stationären Zustand des Fahrzeugs beim Eintritt in die Regelung zum Zeitpunkt  $t_{ein}$ , der durch die Regeleingriffe wiederherzustellen ist.

Weist das Übersteuer-Aktiv-Flag den Wert 1 auf, wird dieser  
15 auf den Wert 0 zurückgesetzt, wenn wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- a) Das Übersteuerflag weist den Wert 0 auf (bzw. ändert seinen Wert von 1 auf 0).
- b) Das Vorzeichen des Lenkwinkels  $\delta_R$  ist verschieden von dem  
20 Vorzeichen der gemessenen Gierrate  $\dot{\psi}$  des Fahrzeugs (bzw. der Lenkwinkel  $\delta_R$  ändert sein Vorzeichen im Vergleich zum Vorzeichen der Gierrate  $\dot{\psi}$ ).
- c) Der Wert der gemessenen Gierrate  $\dot{\psi}$  ist betragsmäßig kleiner als der Wert  $\dot{\psi}_{ref}(t_{ein})$  der Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  (bzw.  
25 sinkt unter diesen Wert).

Anhand der Bedingung a) werden die Regeleingriffe zurückgenommen, wenn keine Übersteuersituation mehr vorliegt. Die Bedingung b) ist nur dann erfüllt, wenn der Fahrer während der  
30 Regelung sehr heftig und überzogen reagiert. Eine dadurch entstehende kritische Fahrsituation führt dabei zu einem ESP-Regeleingriff, der das Fahrzeug stabilisiert. Um hier Probleme



me einer Koordinierung zwischen der betrachteten Lenkwinkelregelung und den ESP-Regeleingriffen zu vermeiden, wird das Übersteuer-Aktiv-Flag hier auf den Wert 0 zurückgesetzt.

- 5 Aufgrund der Bedingung c) wird die Lenkwinkelregelung deaktiviert, wenn das Fahrzeug stabilisiert worden ist. Hierbei wird der Wert  $\dot{\psi}_{ref}(t_{ein})$  anstelle des momentanen Wertes der Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  als Charakterisierung eines stabilen Fahrzustandes zugrunde gelegt, um wiederum eine wechselseitige  
10 ge Beeinflussung der Lenkwinkelregelung und der ESP-Regelung zu vermeiden.

Diese entsteht dadurch, dass die Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  durch die Lenkbewegungen des Fahrers, die dieser aufgrund der Unterstützung anhand des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  ausführt, beeinflusst wird. Durch die wechselseitige Beeinflussung zwischen  
15 dem Wert des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  und dem Wert der Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  kann die Gierratenabweichung des Fahrzeugs verstärkt werden, so dass es zu Schwingungen der Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  mit wachsender Amplitude kommen kann. Durch die entsprechenden Regeleingriffe der Lenkwinkelregelung und des  
20 ESP-Systems kann es hier zu einem "Aufschaukeln" des Fahrzeugs kommen.

- 25 Durch die Abbruchbedingung c) konnte jedoch eine stabile Regelung erreicht werden, bei der die Probleme der Koordinierung vermieden werden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird das  
30 Übersteuer-Flag zudem auch dann auf den Wert 0 zurückgesetzt, wenn das geschätzte von dem Fahrer aufgebrachte Fahrerlenkmoment  $\hat{M}_F$  kleiner als ein Schwellenwert  $S_M$  ist. Anhand dieser

Bedingung wird dabei eine Situation erkannt, in welcher der Fahrer das Lenkrad nicht mehr greift. Der Erkennung muss hier ein geschätzter Wert  $\hat{M}_F$  für das Fahrerlenkmoment  $M_F$  zugrunde gelegt werden, da das im Lenkstrang gemessene Handmoment  $M_H$  auch durch die Regeleingriffe beeinflusst wird, die mittels des EPS-Servomotors vorgenommen werden. Das Fahrerlenkmoment  $M_F$  wird dabei in dem Block 230 geschätzt.

Zur Bestimmung des Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  bei dessen Einstellung der Fahrer durch die Regelung unterstützt werden soll, ist der Block 240 vorgesehen. Eine bevorzugte Ausführungsform dieses Blocks, die auf einer zeitoptimalen Regelung basiert, ist in der Figur 5 dargestellt.

In dieser Ausführungsform wird zunächst ein Soll-Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta_R$  aus der Abweichung  $\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}(t_{ein})$  zwischen der gemessenen Gierrate  $\dot{\psi}$  des Fahrzeugs und der zum Zeitpunkt  $t_{ein}$  bestimmten Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  ermittelt. Der Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  ergibt sich daraus durch Differenzbildung:

$$\delta_{soll} = \delta_R - \Delta\delta_R$$

Die Referenzgierrate wird durch einen Speicher 510 bereitgestellt, der vorzugsweise wiederum als flankengesteuerter Haltespeicher ausgeführt ist und durch das Übersteuer-Aktiv-Flag angesteuert wird.

Der Ermittlung des Zusatzlenkwinkels  $\Delta\delta_R$  wird ein Modell eines übersteuernden Fahrzeugs zugrunde gelegt, bei dem die Gierratenabweichung  $\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}(t_{ein})$  mit zunehmendem Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta_R$  wächst. Insbesondere wird hier ein Modell mit der folgenden Übertragungsfunktion  $G(s) = L\{\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}(t_{ein})\} / L\{\Delta\delta_R\}$  gewählt, wobei  $L\{.\}$  die Laplace-Transformierte bezeichnet:

$$G(s) = \frac{K}{s(1+sT)}$$

Auf der Grundlage dieses Modells wird eine Steuergröße  $u$  aus einer Differenz zwischen der Eingangsgröße  $e = \dot{\psi}_{ref}(t_{ein}) - \dot{\psi}$  und der Größe  $S(\dot{e})$  bestimmt, die in der Schaltlinie 520 ermittelt wird. Dabei gilt:

$$S(\dot{e}) = -T\dot{e} + K\delta_{max}T \ln\left(1 + \frac{|\dot{e}|}{K\delta_{max}}\right) \operatorname{sgn}(\dot{e})$$

Vorzugsweise wird dabei eine linearisierte Form der Schaltlinie 520 verwendet, bei der gilt:

$$S(\dot{e}) \approx -0,31T\dot{e}$$

Der Parameter  $T$  kann beispielsweise in Fahrversuchen angepasst werden.

15

Die Bestimmung des Zusatzlenkwinkels  $\Delta\delta_R$  erfolgt anhand einer Dreipunktkennlinie in dem Block 530. Der Wert  $\delta_{max}$  legt dabei den maximal zulässigen Betrag für den Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta_R$  fest. Darüber hinaus werden durch den Block 530 nur solche Steuergrößen  $u$  übergeben, die betragsmäßig größer als ein Unempfindlichkeitsparameter  $a$  sind. Diese Maßnahme dient zur Beruhigung der Regelung.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Blocks 240 zur Bestimmung des Solllenkwinkels  $\delta_{soll}$  ist in der Figur 6 dargestellt. Dabei wird der Soll-Zusatzlenkwinkel  $\Delta\delta_R$  aus der anhand eines Faktors  $K_\beta$  verstärkten Schwimmwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\beta}$  und der anhand eines Faktors  $K_\psi$  verstärkten Abweichung  $\dot{\psi} - \dot{\psi}_{ref}$  zwischen der gemessenen Gierrate  $\dot{\psi}$  des Fahrzeugs und der Referenzgierrate  $\dot{\psi}_{ref}$  bestimmt. In dem Block

30

610 erfolgt dabei eine Arbitrierung, die vorzugsweise anhand einer Summenbildung aus den beschriebenen Eingangsgrößen des Blocks 610 oder anhand einer Maximalwertbildung erfolgt.

- 5 Der Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  wird in dieser Ausführungsform ebenfalls als Differenz zwischen dem Lenkwinkel  $\delta_R$  an den lenkbaren Rädern und der ermittelten Lenkwinkeländerung  $\Delta\delta_R$  bestimmt.
- 10 Der Block 230 in Figur 2 hat die Aufgabe, das auf den Lenkstrang wirkende Reifenrückstellmoment  $M_R$ , welches durch die Seitenführungskräfte und Querkräfte der Reifen bewirkt wird und dem Handlenkmoment  $M_H$  entgegenwirkt, sowie das von dem Fahrer aufgebrachte Fahrerhandlenkmoment  $M_F$  zu schätzen. Zur
- 15 Schätzung werden dabei in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung lineare Störgrößenbeobachter verwendet.

Dem in der Figur 7 dargestellten Störgrößenbeobachter zum Schätzen des Reifenrückstellmoments  $M_R$  liegt dabei folgende

20 Modellgleichung des Lenksystems zugrunde:

$$\ddot{\delta}_L = \frac{1}{J} \left( \frac{i_M}{i_L} M_M + M_H - M_{IR} - M_R \right) \quad (1)$$

Dabei bezeichnet  $J$  das Trägheitsmoment des Lenkstrangs,  $M_M$  das von dem EPS-Servomotor aufgebrachte Lenkmoment, das beispielsweise aus dem Eingangsstrom des Motors ermittelt werden

25 kann,  $i_L = \delta_L/\delta_R$  das Übersetzungsverhältnis zwischen dem Lenkwinkel  $\delta_L$  an der Lenksäule und dem Lenkwinkel  $\delta_R$  an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs und  $i_M = \delta_M/\delta_R$  das Übersetzungsverhältnis zwischen dem Aussteuerungswinkel  $\delta_M$  des EPS-Servomotors und dem Lenkwinkel  $\delta_R$  an den lenkbaren Rädern. Die Aus-

30 wertung anhand von Gleichung 1 zeigt sich dabei auf die Lenksäule.

Durch das Moment  $M_{IR}$  in Gleichung 1 werden eine zur Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  proportionale viskose Reibung innerhalb des Lenkstrangs, die durch ein Gleiten auf einer geschmierten Oberfläche entsteht, sowie ein mit einer Auslenkung verbundenes Rückstellmoment innerhalb des Lenkstrangs (Federwirkung) berücksichtigt, das proportional zum Lenkwinkel  $\delta_L$  ist. Das Moment  $M_{IR}$  hat somit die Form:

$$M_{IR} = c_1 \delta_L + d_1 \dot{\delta}_L \quad (2)$$

10

Die Proportionalitätskonstanten  $c_1$  und  $d_1$  können, ebenso wie das Trägheitsmoment  $J$  in Fahrversuchen ermittelt werden.

Anhand von Gleichung 1 errechnet der Störgrößenbeobachter eine geschätzte Lenkwinkelbeschleunigung  $\ddot{\delta}_L$ . Durch eine erste Integration erhält man daraus einen geschätzten Wert  $\dot{\hat{\delta}}_L$  für die Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$ , eine weitere Integration liefert aus der geschätzten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\hat{\delta}}_L$  einen geschätzten Lenkwinkel  $\hat{\delta}_L$ .

20

Die zeitliche Ableitung  $\dot{\hat{M}}_R$  des Schätzwerts  $\hat{M}_R$  für das Reifenrückstellmoment  $M_R$  wird in dem Störgrößenbeobachter aus der Abweichung zwischen dem geschätzten Lenkwinkel  $\hat{\delta}_L$  und dem gemessenen Lenkwinkel  $\delta_L$  und aus der Abweichung zwischen der geschätzten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\hat{\delta}}_L$  und der aus den Messwerten des Lenkwinkelsensors abgeleiteten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  ermittelt, die über eine Verstärkungsmatrix  $L$  zum Eingang des Störgrößenbeobachters rückgekoppelt werden. Es gilt somit:

$$\dot{\hat{M}}_R = L_{31}(\delta_L - \hat{\delta}_L) + L_{32}(\dot{\delta}_L - \dot{\hat{\delta}}_L)$$

30

Über die Verstärkungsmatrix  $L$  können zudem die geschätzte Lenkwinkelbeschleunigung  $\ddot{\delta}_L$  und die geschätzte Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  direkt anhand der Abweichungen zwischen den geschätzten Größen  $\hat{\delta}_L$  sowie  $\dot{\hat{\delta}}_L$  und den entsprechenden aus  
5 Messsignalen ermittelten Größen  $\delta_L$  und  $\dot{\delta}_L$  angepasst werden.

Zur Auslegung der Verstärkungen  $L_{ij}$  der Verstärkungsmatrix  $L$  können Standardverfahren der Regelungstheorie verwendet werden. Sie können beispielsweise durch Polvorgabe ermittelt  
10 werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, einen nicht-linearen Störgrößenbeobachter gemäß der Figur 8 zur Schätzung des Reifenrückstellmoments  $M_R$   
15 zu verwenden.

Die Schätzung beruht dabei auf einem Modell des Lenkstrangs, in dem zusätzlich zu den Größen, die in dem bereits beschriebenen Modell verwendet werden, eine Coulomb'sche Reibung berücksichtigt wird, die bei einem Gleiten auf einer trockenen Kontaktfläche entsteht. Das durch Reibung entstehende innere Lenkmoment nimmt in diesem Modell eine Gestalt der Form

$$M_{IR} = K_F \delta_L + K_D \dot{\delta}_L + K_C \operatorname{sgn}(\dot{\delta}_L) \quad (3)$$

an.  
25

Dem in der Figur 8 dargestellten Beobachter liegt wiederum die Modellgleichung 1 zugrunde, in die das innere Lenkmoment entsprechend Gleichung 4 eingesetzt wird. Die geschätzte Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  sowie der geschätzte Lenkwinkel  
30  $\hat{\delta}_L$  werden auch hier durch Integration aus der geschätzten Lenkwinkelbeschleunigung  $\ddot{\delta}$  ermittelt.

$$\dot{\delta}_L = \int \ddot{\delta}_L dt \quad \text{und} \quad \hat{\delta}_L = \int \dot{\delta}_L dt$$

Das zu schätzende Reifenrückstellmoment  $\hat{M}_R$  ergibt sich hier aus der Differenz zwischen der geschätzten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\hat{\delta}}_L$  und der gemessenen Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  sowie der Differenz zwischen dem geschätzten Lenkwinkel  $\hat{\delta}_L$  und dem gemessenen Lenkwinkel  $\delta_L$  und wird zum Eingang des Störgrößenbeobachters rückgekoppelt:

$$\hat{M}_R = h_1 \cdot (\dot{\hat{\delta}}_L - \dot{\delta}_L) + h_2 \cdot (\hat{\delta}_L - \delta_L)$$

10 Die Verstärkungsfaktoren  $h_1$  und  $h_2$  werden dabei in Fahrversuchen geeignet bestimmt, so dass das System insbesondere stabil ist und hinreichend genaue Werte für das Reifenrückstellmoment  $M_R$  geschätzt werden können.

15 Das geschätzte Reifenrückstellmoment  $\hat{M}_R$  entspricht dem auf den Lenkstrang wirkenden Lastmoment  $M_{Last}$ . Durch Multiplikation mit einem Faktor  $i_L$  kann dieses Lastmoment  $M_{Last}$ , das hier auf die Lenkstange bezogen bestimmt wird, auf die lenkbaren Räder des Fahrzeugs bezogen werden.

20

Die Schätzung des Fahrerlenkmoments  $M_F$  wird vorzugsweise in analoger Weise wie die Schätzung des Reifenrückstellmoments  $M_R$  mittels eines linearen Störgrößenbeobachters vorgenommen, der in der Figur 9 dargestellt ist. Dem Störgrößenbeobachter  
25 liegt dabei folgende Modellgleichung für das Drehverhalten des Lenkrads zugrunde, in die insbesondere die Differenz zwischen dem von dem Fahrer aufgebrauchten Fahrerlenkmoment  $M_F$  und dem gemessenen Handlenkmoment  $M_H$  eingeht:

$$\ddot{\delta}_L = \frac{1}{J} (M_F - M_H - c_2 \dot{\delta}_L - d_2 \delta_L) \quad (4)$$

30



Durch den Term  $c_2\delta_L + d_2\dot{\delta}_L$  werden wiederum eine viskose Reibung und eine Federwirkung berücksichtigt.

5 Zur Berechnung werden des geschätzten Fahrerlenkmoments  $\hat{M}_F$  anhand von Gleichung 4 werden wiederum die geschätzte Lenkwinkelbeschleunigung  $\ddot{\delta}_L$ , die geschätzte Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  und der geschätzte Lenkwinkel  $\hat{\delta}_L$  am Lenkrad verwendet.

10 Die zeitliche Ableitung  $\dot{\hat{M}}_F$  des geschätzten Fahrerlenkmoments  $\hat{M}_F$  wird in dem Störgrößenbeobachter analog zu der Ableitung  $\dot{\hat{M}}_R$  des geschätzten Reifenrückstellmoments  $\hat{M}_R$  in der Figur 7 aus der Abweichung zwischen dem geschätzten Lenkwinkel  $\hat{\delta}_L$  und dem gemessenen Lenkwinkel  $\delta_L$  und aus der Abweichung zwischen der geschätzten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  und der  
15 aus den Messwerten des Lenkwinkelsensors abgeleiteten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_L$  ermittelt, die über eine Verstärkungsmatrix  $l$  zum Eingang des Störgrößenbeobachters rückgekoppelt werden. Es gilt somit:

20 
$$\dot{\hat{M}}_F = l_{31}(\delta_L - \hat{\delta}_L) + l_{32}(\dot{\delta}_L - \dot{\hat{\delta}}_L)$$

Durch Integration ergibt sich daraus das geschätzte Fahrerlenkmoment  $\hat{M}_F$ .

25 Aus dem geschätzten Fahrerlenkmoment  $\hat{M}_F$  kann, wie bereits erläutert worden ist, ermittelt werden, ob der Fahrer das Lenkrad während eines Regeleingriffs loslässt.

Das Zusatzlenkmoment  $\Delta M$  wird anhand einer Lenkwinkelregelung  
30 in dem Block 250 und einer Störgrößenaufschaltung durch den Block 260 ermittelt.

Ein Blockschaltbild eines vorteilhaften Reglers 250 ist in der Figur 10 gezeigt. Der Regelanteil  $M_{Reg}$  des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  wird dabei in der dargestellten Ausführungsform des Reglers 250 aus der Summe eines ersten Anteils und eines zweiten Anteils bestimmt.

Der erste Anteil wird durch eine Verstärkung der Regelabweichung zwischen dem Solllenkwinkel  $\delta_{Soll}$  und dem momentan vorliegenden Lenkwinkel  $\delta_R$  an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs mit einem vorbestimmten Faktor  $K_2$  mittels eines Proportionalreglers bestimmt.

Der zweite Anteil ergibt sich aus einer Regelabweichung der Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_R$  und wird in einem Zweig des Reglers 250 bestimmt, der als Kaskadenregler ausgeführt ist. Die Führungsgröße für einen inneren Regler wird dabei aus einer Multiplikation der Regelabweichung  $\delta_{Soll} - \delta_R$  des Lenkwinkels mit einem vorbestimmten Faktor  $K_1$  ermittelt und entspricht einer Soll-Lenkwinkeländerung. Die Regelabweichung ergibt sich entsprechend aus der Differenz  $K_1(\delta_{Soll} - \delta_R) - \dot{\delta}_R$  zwischen der ermittelten Soll-Lenkwinkeländerung und der aus den Messwerten des Lenkwinkelsensors bestimmten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_R$ .

25

Der innere Regler des Kaskadenreglers ist vorzugsweise als PD-Regler ausgeführt, so dass sich der zweite Anteil des Regelanteils  $M_{Reg}$  des Zusatzlenkmoments wie folgt ergibt:

$$K_{2,P} \cdot [K_1 \cdot (\delta_{Soll} - \delta_R) - \dot{\delta}_R] + K_{2,D} \cdot \frac{d}{dt} [K_1 \cdot (\delta_{Soll} - \delta_R) - \dot{\delta}_R]$$

30

Anhand dieses zweiten Anteils des Regelanteils  $M_{reg}$  des Zusatzlenkmoments kann das System sehr schnell und wirkungsvoll eingreifen, wenn die Differenz zwischen dem Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  und dem momentanen Lenkwinkel  $\delta_R$  durch Lenkbewegungen  
5 des Fahrers vergrößert wird.

Der Anteil  $M_{Stör}$  des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  ergibt sich aus dem mit einem Faktor  $K_S$  verstärkten geschätzten Lastlenkmoment  $M_{Last}$  und wird in dem Block 260 bestimmt, der in einem Block-  
10 schaltbild in Figur 11 dargestellt ist. Die Berücksichtigung des Anteils  $M_{Stör}$  entspricht dabei einer Störgrößenaufschaltung, die es hier ermöglicht, die Fahrbahnbeschaffenheit zu berücksichtigen, die Lenkwinkelregelung jedoch in einfacher Weise unabhängig von diesem Einfluss durchführen zu können.

15

Zum Bestimmen des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  werden die Anteile  $M_{reg}$  und  $M_{Stör}$  addiert. Die Summe wird ferner mit dem durch die Aktivierungslogik in Block 220 bestimmten Übersteuer-Aktiv-Flag multipliziert, so dass das Zusatzlenkmoment nur dann an den  
20 ESP-Servomotor übergeben wird, wenn das Übersteuer-Aktiv-Flag den Wert 1 aufweist.

Ferner erfolgt eine Limitierung des Zusatzlenkmoments in dem Block 270. Eine vorteilhafte Ausgestaltung dieses Blocks ist  
25 anhand der Figur 12 veranschaulicht.

Dabei wird zunächst die Leistung  $P_{\Delta M} = \Delta M \cdot \dot{\delta}_R$  des Regeleingriffs aus dem Zusatzlenkmoment  $\Delta M$  und der Lenkwinkelgeschwindigkeit berechnet. Überschreitet diese betragsmäßig ei-  
30 nen vorgegebenen Wert  $P_{\Delta M, max}$ , dann wird das Unterstützungsmoment  $M_{DSR}$  mit dem der Lenkstrang durch den EPS-Servomotor beaufschlagt wird, auf den folgenden Wert begrenzt:

$$M = \frac{P_{\Delta M, \max}}{\max(1, |\dot{\delta}_R|)} \operatorname{sgn}(\Delta M)$$

Ist dies nicht der Fall, so entspricht die Lenkmomentanforderung  $M_{DSR}$  an den EPS-Servomotor dem Zusatzlenkmoment  $\Delta M$ .

5

Diese Limitierung ist insbesondere dann besonders sinnvoll, wenn darauf verzichtet wird zu erkennen, ob der Fahrer das Lenkrad losgelassen hat.

10 Eine bevorzugte Ausführungsform des Anteils des Regelsystems 120, der die Regelung in einer Untersteuersituation vornimmt, ist in einer als Blockschaltbild dargestellten Übersicht in der Figur 13 gezeigt.

15 Das Teilsystem umfasst dabei insbesondere einen Block 1310 zum Erkennen einer Untersteuersituation, einen Block 1320, der eine Logikschaltung zum Aktivieren des Regelsystems enthält, einen Block 1330 zum Bestimmen eines Solllenkwinkels  $\delta_{soll}$ , einen Lenkwinkelregler 1340 sowie einen Block 1350 zum  
20 Limitieren des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$ .

Eine vorteilhafte Ausführungsform des Blocks 1310 zum Erkennen der Untersteuersituation ist in der Figur 14 dargestellt. Eine Untersteuersituation wird in dem Block 1310 dann er-  
25 kannt, wenn die Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$  des Fahrzeugs größer als ein vorgegebener Schwellenwert  $S_v$  ist, der zwischen 60 km/h und 120 km/h und vorzugsweise bei 80 km/h liegt, und wenn zusätzlich wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- 30 a) Ein Aquaplaning-Flag weist den Wert 1 auf.  
b) Ein momentan vorliegender Reibwert  $\mu$  der Fahrbahn ist kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert  $S_\mu$ .

- Das Aquaplaning-Flag wird dabei vorzugsweise durch ein ESP-System des Fahrzeugs auf den Wert 1 gesetzt, wenn dieses eine Aquaplaning-Situation erkennt. Als momentaner Wert  $\mu$  des
- 5    Fahrbahnreibwert wird vorzugsweise ebenfalls der von einem ESP-System geschätzte Wert übernommen. Der Schwellenwert  $S_\mu$  für den Reibwert  $\mu$  liegt beispielsweise zwischen 0,05 und 0,2, vorzugsweise bei 0,1.
- 10    Wird in dem Block 1310 eine Untersteuersituation erkannt, wird ein Untersteuer-Flag, welches das Ausgangssignal des Blocks 1310 darstellt, auf den Wert 1 gesetzt. Wenn anhand der vorbeschriebenen Bedingungen keine Untersteuersituation erkannt wird, weist das Untersteuer-Flag den Wert 0 auf.
15.    Das Untersteuer-Flag dient als Eingangssignal für den Block 1320, der die Aktivierungslogik der Regelung enthält. Eine bevorzugte Ausgestaltung des Blocks 1320 ist in der Figur 15 dargestellt.
- 20    Bei einem Zündungsneustart wird von dem Block ein Untersteuer-Aktiv-Flag auf den Wert 0 gesetzt. Eine Änderung von dem Wert 0 auf den Wert 1 wird dann vorgenommen, wenn das Untersteuerflag den Wert 1 annimmt.
- 25    Weist das Übersteuer-Aktiv-Flag den Wert 1 auf, wird es auf den Wert 0 zurückgesetzt, wenn das Untersteuer-Flag den Wert 0 annimmt.
- 30    Der Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$ , dessen Einstellung durch den Fahrer anhand der Regelung unterstützt werden soll, wird in dem Block 1330 ermittelt. Eine bevorzugte Ausführungsform des Blocks 1330 ist in der Figur 16 dargestellt.

Der Block 1330 enthält dabei einen Speicher 1610, der vorzugsweise als ein flankengesteuerter Haltespeicher ausgeführt ist und durch das Übersteueraktiv-Flag angesteuert wird.

- 5 Wechselt der Wert des Übersteuer-Aktiv-Flags zum Zeitpunkt  $t_{ein}$  von dem Wert 0 auf den Wert 1, wird der zum Zeitpunkt  $t_{ein}$  vorliegende Wert  $\delta_R(t_{ein})$  des Lenkwinkels  $\delta_R$  an den lenkbaren Rädern des Fahrzeugs in dem Speicher 1610 gespeichert und von dem Block 1330 als Solllenkwinkel  $\delta_{soll}$  ausgegeben.

10

Das Zusatzlenkmoment  $\Delta M$  wird durch eine Multiplikation eines Regelanteils  $M_{reg}$  mit dem Untersteuer-Aktiv-Flag bestimmt, und nimmt somit den Wert  $M_{reg}$  an, wenn des Untersteuer-Aktiv-Flag den Wert 1 aufweist. Ansonsten hat das Zusatzlenkmoment  $\Delta M$

15

den Wert 0.

Der Regelanteil  $M_{reg}$  des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  wird durch den Regler 1340 bestimmt. Eine vorteilhafte Ausführungsform dieses Reglers ist in der Figur 17 dargestellt.

20

Der Regelanteil wird in dieser Ausführungsform aus einer Differenz zwischen einer verstärkten Regelabweichung  $\delta_{soll} - \delta_R$  und einer verstärkten Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_R$  bestimmt.

25

Die Verstärkungen werden dabei anhand von Kennlinien  $u_p(\delta_{soll} - \delta_R)$  und  $u_d(\dot{\delta}_R)$  in den Blöcken 1710 und 1720 ermittelt. Die Lenkwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\delta}_R$  wird mittels eines Differenziergliedes 1730 bestimmt, das durch einen geeigneten realen Differenzierer realisiert wird. Vorzugsweise handelt

30

es sich bei dem Differenzierglied 1730 um ein  $DT_1$ -Glieder.

Zudem ist eine Limitierung des Zusatzlenkmoments  $\Delta M$  vorgesehen, die in Abhängigkeit des momentanen Fahrzustands und der

des momentanen Fahrerverhaltens durchgeführt wird. Ein Blockschaltbild einer Limitierungskomponente ist in der Figur 18 dargestellt.

- 5 In dem Block 1810 wird eine geschwindigkeitsabhängige Limitierung vorgenommen, wobei in einem unteren Geschwindigkeitsbereich eine stärkere Begrenzung des Zusatzlenkmoments erfolgt, als in einem mittleren Geschwindigkeitsbereich. Es hat sich gezeigt, dass eine derartige geschwindigkeitsabhängige
- 10 Limitierung von vielen Fahrzeugbedienern als besonders komfortabel angesehen wird. In Bereichen hoher Geschwindigkeit wird eine starke Begrenzung des Zusatzlenkmoments vorgenommen, da Eingriffe hier bei einem Fehlverhalten des Fahrzeugbedieners zu einem erheblichen Schaden führen können. Die Begrenzung innerhalb des Blocks 1810 wird vorzugsweise anhand
- 15 einer Kennlinie vorgenommen, die beispielsweise in Fahrversuchen bestimmt wird.

- Der Block 1820 verringert das Zusatzlenkmoment mit einer größer werdenden Zeitdauer des Regeleingriffs. Hierdurch wird verhindert, dass aufgrund wachsender Fehler bei der Bestimmung der Eingangsgrößen, wie beispielsweise den Bremsdrücken, oder wachsenden Schätzfehlern, beispielsweise bei der Schätzung des Kurslenkwinkels bei einem Bremsvorgang während der
- 25 Fahrt durch eine Kurve, fehlerhaft Regeleingriffe vorgenommen werden. In der Regel wird der Fahrzeugbediener dabei nach einer gewissen Zeitdauer des Eingriffs in der er auf die Gefahrensituation aufmerksam gemacht und zur Stabilisierung des Fahrzeugs angeleitet wird, selbst in der Lage sein, die Lenkregelaufgabe vollständig zu übernehmen.
- 30

Ferner ist eine Limitierung vorgesehen, die das Verhalten des Fahrzeugbedieners berücksichtigt. In dem Block 1830 wird da-



bei aus dem gemessenen von dem Fahrzeugbediener aufgebrauchten Handlenkmoment  $M_H$  und der momentanen Regelabweichung des Lenkwinkels ermittelt, ob der Fahrzeugbediener den Vorgaben des Regelsystems folgt, oder ob er sich ihnen widersetzt. Dabei kann durch eine zeitlich fortschreitende Betrachtung und Auswertung dieser Größen eine Größe gebildet werden, die ein Maß für das Widersetzen des Fahrers ist. Überschreitet diese Größe einen vorbestimmten Schwellenwert, wird das Zusatzlenkmoment durch den Block 1830 bis auf den Wert Null reduziert.

10

Ferner wird in dem Block 1840 eine Dynamikbegrenzung durchgeführt, bei welcher der Anstieg bzw. der Abfall des Zusatzlenkmoments begrenzt wird, um ein zu schnelles Aufbringen des Zusatzlenkmoments auf das Lenkrad zu verhindern. Ohne diese Begrenzung wäre es bei einer sehr hohen Dynamik des EPS-Servomotors möglich, dass dem Fahrzeugbediener das Lenkrad durch ein plötzliches Einsteuern des Zusatzlenkmoments aus der Hand geschlagen wird.

20 Das Ausgangssignal der in Limitierungskomponente ist die Lenkmomentanforderung  $M_{DSR}$  an den ESP-Servomotor. In einer Untersteuersituation unterstützt das Lenkmoment  $M_{DSR}$  den Fahrer dabei, heftige Lenkwinkeländerung zu vermeiden, so dass ein Schleudern des Fahrzeugs beim Wechsel auf einen Hochreibwert  
25 verhindert wird.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners beim Stabilisieren eines Fahrzeugs, bei dem ein Lenkstrang des Fahrzeugs mit einem Zusatzlenkmoment beaufschlagt wird,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass ein erster Anteil des Zusatzlenkmoments in Abhängigkeit einer Lenkwinkelabweichung zwischen einem momentanen Lenkwinkel an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs und einem Solllenkwinkel bestimmt wird, wobei die Lenkwinkelabweichung in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem momentanen Wert einer Gierrate des Fahrzeugs und einem Wert einer Referenzgierrate bestimmt wird, und wobei der Wert der Referenzgierrate anhand eines Wertes wenigstens einer von dem Fahrer vorgegebenen Größe in einem Fahrzeugmodell ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass die Referenzgierrate in Abhängigkeit eines von dem Fahrzeugbediener eingestellten Lenkwinkels ermittelt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass das Zusatzlenkmoment zurückgenommen wird, wenn die momentane Gierrate des Fahrzeugs betragsmäßig unter einen Wert der Referenzgierrate sinkt, der zu einem Zeitpunkt eines Beginns einer instabilen Fahrsituation ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**

dass die Lenkwinkelabweichung in Abhängigkeit einer Abweichung der momentanen Gierrate des Fahrzeugs von dem Wert der Referenzgierrate ermittelt wird, der zu einem Zeitpunkt eines Beginns einer instabilen Fahrsituation ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,**  
dass der Zeitpunkt des Beginns einer instabilen Fahrsituation durch eine Aktivierungslogik bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,**  
dass die Aktivierungslogik zum Ermitteln des Beginns einer instabilen Fahrsituation auf Ergebnisse einer Fahrsituationserkennung zugreift.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,**  
dass ein zweiter Anteil des Zusatzlenkmoments in Abhängigkeit eines geschätzten Wertes eines Reifenrückstellmoments bestimmt wird.
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,**  
dass das Reifenrückstellmoment durch einen Störgrößenbeobachter geschätzt wird.
9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,**  
dass das Zusatzlenkmoment durch eine Addition des ersten und des zweiten Anteils ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Betrag des Zusatzlenkmoments limitiert wird.
11. Vorrichtung zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners beim Stabilisieren eines Fahrzeugs, beinhaltend ein Mittel zum Einstellen eines Zusatzlenkmoments anhand eines Zusatzlenkmomentsignals,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass ein Mittel zum Bestimmen einer Referenzgierrate ein Referenzgierratensignal an einen Lenkwinkelregler übermittelt, der ein erstes Zusatzlenkmomentsignal in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen dem Referenzgierratensignal und einem gemessenen Gierratensignal bestimmt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie wenigstens ein steuerbares Speichermittel zum Speichern eines Wertes des Referenzgierratensignals aufweist, das von dem Mittel zum Bestimmen der Referenzgierrate an das Speichermittel übermittelt wird.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 und 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Speichermittel durch ein Aktivierungsmittel angesteuert wird.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Aktivierungsmittel in wenigstens zwei Betriebszuständen betreibbar ist, und die Ansteuerung des Speichermittels bei einem Übergang von einem ersten in einen

zweiten Betriebszustand erfolgt.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass ein Übergang von dem ersten Betriebszustand des Aktivierungsmittels in den zweiten Betriebszustand durch ein Mittel zum Erkennen einer instabilen Fahrsituation gesteuert wird.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass ein Übergang von dem zweiten Betriebszustand des Aktivierungsmittels in den ersten Betriebszustand durch ein Vergleichsmittel zum Vergleichen eines in dem Speichermittel gespeicherten Wertes des Referenzgierratensignals und eines gemessenen Wertes der Gierrate des Fahrzeugs gesteuert wird.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Speichermittel den gespeicherten Wert der Referenzgierrate an den Lenkwinkelregler übergibt.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie einen Störgrößenbeobachter zum Schätzen eines Reifenrückstellmoments enthält.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass sie ein Mittel zum Bestimmen eines zweiten Zusatzlenkmomentsignals anhand des geschätzten Reifenrückstell-

moments enthält.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass sie einen Addierer zum Ermitteln eines Zusatzlenkmoments aus dem ersten und dem zweiten Zusatzlenkmomentsignal enthält.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 20,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass es sich bei dem Mittel zum Einstellen des Zusatzlenkmoments um einen Servomotor einer elektrischen Servolenkung handelt.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 21,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass es sich bei dem Mittel zum Einstellen des Zusatzlenkmoments um eine hydraulische Servolenkung handelt.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 22,  
**d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t,**  
dass es sich bei dem Mittel zum Einstellen des Zusatzlenkmoments um eine Steer-by-Wire-Lenkung handelt.

**Zusammenfassung:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Unterstützen eines Fahrzeugbedieners beim Stabilisieren eines Fahrzeugs, bei dem ein Lenkstrang des Fahrzeugs mit einem Zusatzlenkmoment beaufschlagt wird.

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass ein erster Anteil des Zusatzlenkmoments in Abhängigkeit einer Lenkwinkelabweichung zwischen einem momentanen Lenkwinkel an lenkbaren Rädern des Fahrzeugs und einem Solllenkwinkel bestimmt wird, wobei die Lenkwinkelabweichung in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem momentanen Wert einer Gierrate des Fahrzeugs und einem Wert einer Referenzgierrate bestimmt wird, und wobei der Wert der Referenzgierrate anhand eines Wertes wenigstens einer von dem Fahrer vorgegebenen Größe in einem Fahrzeugmodell ermittelt wird.

Die Erfindung betrifft ferner eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung.